

NOTA DE ACEPTACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

**ESTANDARIZACION DEL MÉTODO CALORIMETRICO PARA LA DETERMINACION
DEL PODER CALORÍFICO DE ALIMENTOS PARA LA ESCUELA DE TECNOLOGIA
QUIMICA.**

Presentado por:

Crysthian Andrés Fernandez molina

**El director y jurados del presente trabajo de grado, una vez revisada la versión
escrita y presenciado la sustentación oral decidimos otorgarle la nota de:**

Con la connotación:

Director: _____

Nombre: Ing. Melvin Arnoldo Durán

Jurado: _____

Nombre:

Jurado: _____

Nombre:

Dedicatoria

A mi madre Yolanda Molina Ruiz por ayudarme a alcanzar mis metas, estar siempre para apoyarme moral y económicamente, su paciencia y su amor.

A mi novia Natalia Morales por haberme dado ánimos para seguir, por su amor y confianza.

A mi tía Luz Marina Molina por apoyarme y ayudarme en todo momento.

Crysthian Andrés Fernandez Molina

Agradecimientos

Al Ingeniero Melvin Arnoldo Durán por su gran paciencia, por la guía que me brindo para realizar este proyecto, por sus consejos tanto en la parte académica como en la parte personal, por su sabiduría y enseñanzas que me ayudaron a tomar decisiones importantes, por su empeño al momento de arreglar la bomba.

A Carlos Humberto Montoya por facilitarme el acceso a los laboratorios, por su guía en el campo de los alimentos, por facilitar parte de los equipos, a ayudarme a tener una idea clara de la cual surgió este proyecto.

A Javi por facilitar todos los equipos y material necesario para la parte experimental, en especial en algunos días donde estaba o era muy escaso el material y equipos.

A mancho por su ayuda para reparar algunos equipos que no se encontraban en buenas condiciones eran necesarios para este proyecto, por prestarme las herramientas necesarias para corregir algunas fugas en la bomba.

A todas las personas que conocido en el transcurso de mi vida académica, profesores, compañeros y amigos, que me han ayudado para llegar hasta este momento y que siempre estuvieron hay acompañándome.

CONTENIDO

<u>NOTA DE ACEPTACION DEL TRABAJO DE GRADO</u>	1
<u>DEDICATORIA</u>	2
<u>AGRADECIMIENTOS</u>	3
<u>CONTENIDO</u>	4
<u>INDICE DE TABLAS</u>	6
<u>INDICE DE FIGURAS</u>	7
<u>RESUMEN</u>	8
<u>ABSTRACT</u>	10
1. <u>ANTECEDENTES</u>	11
1.1. SURGIMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	13
1.3. OBJETIVOS.....	14
1.3.1. Objetivo general.....	14
1.3.2. Objetivo específico.....	14
1.4. JUSTIFICACION.....	15
2. <u>MARCO TEORICO</u>	16
2.1. CALORIMETRIA.....	16
2.1.1. Historia.....	16
2.1.2. Poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI).....	18
2.2. COMBUSTION.....	18
2.3. MEDICION DE LA ENERGIA DE LOS ALIMENTOS.....	20
2.4. BOMBA CALORIMETRICA.....	23
2.4.1. Calorímetro transparente.....	24
2.4.1.1. Características.....	25
2.4.1.2. Descripción.....	25
2.4.1.3. Funcionamiento.....	25
2.4.2. Bomba calorimétrica.....	26
2.4.2.1. Características.....	27
2.4.2.2. Especificaciones técnicas.....	27

3. <u>SECCION EXPERIMENTAL</u>	28
3.1. MATERIALES Y REACTIVOS	28
3.1.1. Muestra alimenticia	28
3.1.1.1. Muestra panela marca LP	28
3.1.1.2. Muestra salchichas Viena de pollo enlatadas marca RONDA	30
3.1.2. Equipos	32
3.1.3. Reactivos	32
3.2. METODOLOGIA	33
3.2.1. Análisis a producto agrícola panela (NTC1311)	33
3.2.1.1. Determinación de porcentaje de humedad	33
3.2.1.2. Determinación de azúcares reductores	33
3.2.1.3. Determinación azúcares totales	33
3.2.2. Determinación de poder calorífico superior (PCS)	34
3.2.2.1. Preparación de la muestra	34
3.2.2.2. Calibración	36
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSION</u>	39
4.1. DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD	39
4.1.1. Determinación del porcentaje de humedad de la panela	39
4.1.2. Determinación del porcentaje de humedad de la salchicha	40
4.1.3. Determinación del porcentaje de cenizas panela	41
4.1.4. Determinación Azúcares reductores y totales	41
4.2. DETERMINACION PODER CALORIFICO SUPERIOR (PCS)	41
4.2.1. Calibración con ácido benzoico y resultados del naftaleno	42
4.2.2. Calibración con ácido benzoico y resultados del antraceno	43
4.2.3. Calibración con ácido benzoico y resultados de la sacarosa	44
4.2.4. Calibración con ácido benzoico y resultados de la panela	46
4.2.5. Calibración con ácido benzoico y resultados de la salchicha	49
4.2.6. Practica elaborada para el laboratorio de alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira	52
4.2.7. Precauciones para trabajar con la bomba calorimétrica	63
5. <u>CONCLUSIONES</u>	64
6. <u>RECOMENDACIONES</u>	65
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	66

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ponderado de las estadísticas de consumo basados en una encuesta de 185 dietas.....	21
Tabla 2. Calores de combustión, y valores de energías netas fisiológicas de la dieta de proteínas, los lípidos, y carbohidratos.....	21
Tabla 3. Tabla nutricional Panela LP.....	29
Tabla 4. Tabla nutricional salchichas de pollo Viena marca ronda.....	31
Tabla 5. Materiales usados.....	32
Tabla 6. Reactivos usados.....	32
Tabla 7. Datos obtenidos en el laboratorio humedad muestra panela.....	39
Tabla 8. Datos obtenidos en el laboratorio humedad muestra salchicha.....	40
Tabla 9. Datos obtenidos en el laboratorio de azúcares reductores y totales..	41
Tabla 10. Resultados De La Combustión Del Ácido Benzoico.....	42
Tabla 11. Resultados De La Combustión Del Naftaleno.....	42
Tabla 12: Resultados De La Combustión Del Ácido Benzoico.....	43
Tabla 13: Resultados De La Combustión Del Antraceno.....	43
Tabla 14: Resultados De La Combustión Del Ácido Benzoico.....	44
Tabla 15: Resultados De La Combustión De la Sacarosa.....	45
Tabla 16: Resultados De La Combustión Del Ácido Benzoico.....	46
Tabla 17: Resultados De La Combustión De la Panela.....	46
Tabla 18: Valores de Atwater.....	48
Tabla 19: Datos biomoléculas de la panela.....	48
Tabla 20: Resultados De La Combustión Del Ácido Benzoico.....	49
Tabla 21: Resultados De La Combustión De las salchichas.....	49
Tabla 22: Valores de Atwater.....	50
Tabla 23: Datos biomoléculas salchicha.....	51

INDICE DE FIGURAS

Figura.1 Esquema de la bomba calorimétrica.....	23
Figura. 2 Detalle de la Bomba calorimétrica.....	24
Figura. 3 Detalle de la Bomba Calorimétrica.....	26
Figura. 4 Diagrama de las partes de la Bomba Calorimétrica.....	26
Figura. 5 Imagen panela usada para el proyecto.....	28
Figura. 6 fotos de las salchichas usadas en el proyecto y tabla nutricional....	30
Figura. 7 a) fotos de las salchichas y la panela antes de entrar a la estufa, b) y enfriándose en el desecador.....	35
Figura. 8 muestra de panela seca.....	35
Figura. 9 muestra de panela macerada hasta quedar partículas muy pequeñas.....	36
Figura. 10 panela antes de ser introducida a la bomba calorimétrica.....	38
Figura. 11 muestra de panela después de la combustión.....	38
Figura. 12 muestra de Naftaleno después de la combustión.....	42
Figura. 13 muestra de Antraceno después de la combustión.....	44
Figura. 14 muestra de la sacarosa después de la combustión.....	45
Figura. 15 a) muestra de la salchicha antes y b) después de la combustión...	51

RESUMEN

Se denomina poder calorífico a la cantidad de calor que libera la unidad de masa de una sustancia cuando se oxida hasta su total conversión en CO₂ y agua (en los hidratos de carbono y grasas) y CO₂ y agua y productos nitrogenados (en las proteínas).

En los seres vivos el proceso que genera energía esencialmente es la oxidación metabólica de los alimentos. Denominada a esta energía metabólica y es aquella generada por los organismos vivos gracias a procesos químicos de oxidación como producto de los alimentos que ingieren.

El metabolismo es el conjunto de reacciones químicas que realizan las células para obtener energía, y sintetizar compuestos (1).

Los seres vivos son sistemas termodinámicos que requieren un suministro continuo de energía fundamentalmente para sostener costosos procesos bioquímicos, tales como el mantenimiento de la temperatura corporal, la respiración, la circulación, la síntesis de biomoléculas, el transporte activo de iones y de numerosas sustancias a través de las membranas celulares, así como la ejecución de trabajo mecánico (actividad física).

La energía necesaria para vivir se obtiene a partir de la oxidación de los alimentos que ingerimos, ya sean hidratos de carbono, lípidos, proteínas o alcohol.

Funcionalmente esa energía se distribuye en tres bloques: el metabolismo basal, que es la energía necesaria para que el ser vivo mantenga su estado de ser viviente, el costo de la actividad física que lleva a cabo el ser vivo y el efecto térmico de los alimentos, que es la energía necesaria para la utilización de estos (1).

La energía que aportan los alimentos puede determinarse mediante la medida del calor desprendido durante su combustión (calorimetría directa) o mediante la medida de los productos o reactivos de la misma (CO₂ y O₂ respectivamente), lo que se conoce como calorimetría indirecta (1).

Una kcal se define como la cantidad de calor necesaria para elevar un grado Celsius la temperatura de un litro de agua. Corrientemente se utiliza el término Caloría (con mayúscula) como sinónimo de kcal. Otra unidad utilizada es el kJ (1 kcal equivale a 4,128 kJ), de todas formas el uso de Calorías (kcal) es mucho más empleado y más frecuente en la terminología energética común en Nutrición (2).

La caloría se emplea como un índice para medir la energía de los alimentos ingeridos y poder así elaborar dietas adecuadas y a menudo «bajas en calorías» (suelen suponer una reducción de un 30%) que permitan la pérdida de peso corporal en aquellos casos que se haya diagnosticado sobrepeso. En cualquier caso, las dietas por debajo de 1.200 kcal están consideradas como peligrosas, ya que son deficientes en algunos nutrientes importantes. En algunos alimentos se habla también de calorías basura (denominadas también como calorías vacías), que son las calorías provenientes de alimentos con muy poco valor nutritivo, como pueden ser los refrescos azucarados o las bebidas alcohólicas (2).

En la industria alimentaria, el valor energético de los alimentos se determina principalmente por la aplicación de un método empírico introducido a finales del siglo

XIX. Este método, conocido como la regla 4-9-4; basado en la composición nutricional de los alimentos. Las cantidades de los nutrientes (en gramos) utilizados principalmente por el cuerpo humano para obtener energía (proteínas, lípidos y carbohidratos) se multiplican, respectivamente, por factores 4, 9 y 4 (kcal.g⁻¹) para obtener así el valor energético de los alimentos (3).

ABSTRACT

It is called calorific value the amount of heat released unit mass of a substance when oxidized until complete conversion to CO₂ and water (in carbohydrates and fats) and CO₂ and water and nitrogen products (proteins) .

In living beings, the process that generates energy essentially is the metabolic oxidation of food. Called metabolic energy and this is one generated by living organisms through chemical processes as oxidation product of the food they eat.

Metabolism is the set of chemical reactions that made the cells for energy, and synthesize compounds (1).

Living beings are thermodynamic systems that require a continuous supply of energy to sustain costly fundamentally biochemical, such as maintaining body temperature, respiration, circulation, synthesis of biomolecules, the active transport of ions and numerous substances processes across cell membranes as well as the execution of mechanical work (physical activity).

The energy required for living is obtained from the oxidation of the food we eat, whether carbohydrates, lipids, proteins or alcohol.

Functionally this energy is distributed in three blocks: the basal metabolism, which is the energy needed for the living being maintains its status of being living, the cost of physical activity that holds the living being and the thermic effect of food , which is the energy required for the use of these (1).

The energy supplied by food can be determined by measuring the heat released during combustion (direct calorimetry) or by measuring the products or reactants of the same (CO₂ and O₂ respectively), what is known as indirect calorimetry (1).

A kcal is defined as the amount of heat required to raise the temperature one degree Celsius one liter of water. Cal is the term commonly used (capitalized) as a synonym for kcal. Another unit used is kJ (1 kcal equals 4,128 kJ), however the use of Calories (kcal) is more and more frequently used in the common energy terminology in Nutrition (2).

Cal is used as an index to measure the energy of ingested food and power and develop appropriate diets and often "low calorie" (generally involve a reduction of 30%) permitting the body weight loss in those cases He has been diagnosed overweight. In any case, diets below 1,200 kcal are considered dangerous because they are deficient in important nutrients. In some foods also it speaks of junk calories (also known as empty calories), which are the calories from foods with little nutritional value, such as sugary sodas or alcoholic beverages (2).

In the food industry, the energy value of food is mainly determined by the application of an empirical method introduced in the late nineteenth century. This method, known as the 4-9-4 rule; based on the nutritional composition of food. The amounts of nutrients (in grams) mainly used by the body for energy (proteins, lipids and carbohydrates) are multiplied respectively by factors 4, 9 and 4 (kcal.g⁻¹) to obtain the energy value food (3).

1. ANTECEDENTES

1.1 SURGUIMIENTO DEL PROBLEMA

La mala nutrición es el estado que aparece como resultado de una dieta desequilibrada, en la cual hay nutrientes que faltan, o de los cuales hay un exceso, o cuya ingesta se da en la proporción errónea. Puede tener como causa también la sobre alimentación (4).

Pueden surgir diferentes desórdenes nutricionales, dependiendo de qué nutrientes son infra o sobre utilizados en la dieta.

La Organización Mundial de la Salud (WHO) define la Desnutrición como la mayor amenaza individual a la salud pública mundial. La mejora de la nutrición es vista de modo amplio como la forma de ayuda más efectiva. Entre las medidas de emergencia para aliviar la malnutrición se encuentran el suministro de los micronutrientes deficitarios a través de sobres de polvo fortalecido, o mediante crema de cacahuete, o directamente a través de suplementos (5).

Anemia, ayunos prolongados para bajar de peso o para mantenerlo, deficiencia de vitaminas, escaso consumo de frutas y verduras y un tiempo de lactancia inferior al requerido son algunos de los factores que están incidiendo en que los colombianos tengamos serios problemas nutricionales (5).

La última Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia (Ensin) muestra datos preocupantes: el 27,5 por ciento de los niños de entre 6 meses y 5 años tiene anemia, y esa enfermedad está presente en el 11 por ciento de los adolescentes y en el 7,6 por ciento de las mujeres en edad fértil.

Además, el 39 por ciento de los colombianos no consume productos lácteos todos los días, uno de cada tres no come frutas diariamente y cinco de cada siete no consumen verduras con la misma frecuencia (71,9 %), por si fuera poco, según la encuesta, siete de cada diez colombianos incorporan comida de la calle en su alimentación diaria o semanal y el 36,6 por ciento consume golosinas diariamente (6).

Si bien hay factores económicos que condicionan esta situación, existen otros, culturales, arraigados en todos los estratos, que hacen que las dietas estén cargadas de carbohidratos. Basta ver la dieta corriente de los colombianos que, así tengan acceso a fuentes proteicas como el pescado de río, prefieren el plátano y la yuca como base alimentaria (6).

Un plan de alimentación balanceado, recuerda la nutricionista, debe incluir proteínas (como carnes, pescados y lácteos), carbohidratos (como cereales) plátanos y

tubérculos) y reguladores (frutas y verduras), mientras las grasas y los azúcares se consumen de forma limitada (6).

El cuerpo humano obtiene su energía de los alimentos pero en específico de las biomoléculas que estos contienen, es decir carbohidratos, proteínas y lípidos en ese orden. La principal fuente son los carbohidratos es decir los azúcares. Estos alimentan las células, las cuales procesan los azúcares a través del ciclo de Krebs que se lleva a cabo en la matriz mitocondrial de las células eucariotas y en el citoplasma en las células procariotas.(7)

Obtenemos la energía de la oxidación de la materia orgánica. Primero se empieza con la glucosa, que tras la ingestión y gracias a la insulina, transformamos en glucógeno que es una molécula formada por muchas glucosas. El problema es que nuestra capacidad de almacenar glucógeno es muy limitada y el resto de la glucosa pasa a transformarse a grasa que es almacenada en el tejido graso y muscular. Esta si es una reserva ilimitada. Cuando se necesita energía el glucógeno se rompe y forma glucosa que mediante la glucólisis es transformada en acetil coenzima A es una molécula intermediaria clave en el metabolismo que interviene en un gran número de reacciones bioquímicas que pasa al ciclo de Krebs en las mitocondrias donde se oxida y mediante la fosforilación oxidativa pasa a formarse ATP, CO₂ Y H₂O. El ATP es una molécula adenina trifosfato de alta energía. Al perder un fosfato dona su energía a la reacción que se esté haciendo. Como se ha dicho la glucosa es limitada, así que cuando hay poca se pasa a usar los lípidos, las grasas, de las cuales se obtiene mucha más energía que de los azúcares, como es la glucosa. Sin embargo hay algunos órganos y células, el cerebro y los eritrocitos en concreto, que solo pueden usar glucosa y cuerpos cetónicos por esta razón es importante saber cuánta es la energía que necesitamos diariamente y cuál es la cantidad de calorías aportadas por los alimentos que consumimos en nuestra dieta diaria.

En la escuela de química de la universidad tecnológica de Pereira no se tiene un método el cual se emplee para medir el poder calorífico de los alimentos, por eso los cálculos de diferentes nutrientes usualmente se hacen con el uso de tablas internacionales de composición de alimentos, las tablas disponibles son comúnmente compilados y / o tablas que vienen del extranjero traducidas. Por lo tanto, los datos obtenidos no siempre corresponden a la realidad local, y no se obtienen buenos resultados al compararlos con los datos obtenidos en el laboratorio. Teniendo en cuenta la necesidad de conocer la composición de macronutrientes de los alimentos, este estudio tiene como objetivo determinar el método por el cual se evaluara el contenido calórico (calorimetría directa) de los alimentos.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Proporcionar un método con reproducibilidad estadística por el cual determine el poder calorífico de diferentes sustancias de referencia y también conocer cuántas calorías poseen los diversos alimentos.

¿Será posible implementar un método calorimétrico el cual sirva para medir el poder calorífico de los alimentos en la escuela de química de la universidad tecnología de Pereira?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Estandarizar y verificar un método por el cual se logre determinar el poder calorífico de alimentos usando la calorimetría.

1.3.2 Objetivos específicos

- Hacer pruebas con diversas sustancias de referencia y comparar el poder calorífico obtenido de estas con los datos en la literatura.
- Probar si el método planteado sirve en los diversos grupos de alimentos.
- Dar credibilidad al método con una reproducibilidad en los resultados obtenidos en el laboratorio.
- Hacer un análisis proximal en un alimento (panela) para conocer las condiciones en que se encuentra, y obtener resultados de diferentes variables que puedan afectar los resultados obtenidos.

1.4 JUSTIFICACION

La vida de los hombres y de los animales puede compararse con el funcionamiento de una máquina; en ambos casos existe un gasto continuo de energía para producir calor y movimiento y en ambos casos se requiere un continuo abastecimiento de combustible.

Cuando una máquina ha agotado su combustible se para. Mientras que sí el motor humano deja de recibir alimento puede seguir viviendo utilizando sus reservas y quemando sus tejidos. Sí una máquina recibe demasiado combustible puede ahogarse y pararse, mientras que sí el motor humano recibe una cantidad de alimento superior a sus necesidades puede transformarlo y almacenarlo en sus tejidos adiposos de reserva (8).

Por otro lado, es posible interrumpir el funcionamiento de una máquina, que en tales condiciones no consumirá combustible; el motor humano no puede en cambio detenerse, y en consecuencia se encuentra en un estado de continuo movimiento y de consumo constante (9).

La caloría (kilocaloría, cal o. kcal) es una unidad de medida del calor energía producido por los alimentos. Por definición, una caloría equivale a la cantidad de calor necesaria para que, a presión atmosférica normal, un litro de agua destilada alcance de 14,5 a 15,5 °C (9).

Los alimentos introducidos en nuestro organismo y quemados en las distintas fases de transformación producen calor-energía y son por tanto capaces de satisfacer las necesidades calóricas individuales. Si se queman en una estufa las mismas cantidades de paja, papel, carbón fósil, aceite o gasolina se obtienen una duración y una potencia de calor muy distintas para cada elemento. Del mismo modo, los principios alimentarios capaces de producir energía, como proteínas, grasas e hidratos de carbono, poseen distinto valor calórico (vitaminas, sales minerales, enzimas, hormonas, etc., tienen únicamente una función reguladora) (8).

Los distintos alimentos presentes en nuestra mesa pocas veces conocemos cuál es el aporte de dichos alimentos en nuestra dieta diaria, para determinar el valor calórico de los alimentos es necesario consultar unas tablas creadas a tal fin.

En la escuela de química las tablas usadas para el cálculo de diferentes nutrientes comúnmente se hacen a partir de tablas internacionales de composición de alimentos. Por esto, los resultados que se obtienen no siempre son los valores reales para los alimentos, no corresponden a la realidad local.

Para nosotros resulta importante saber cuánto es el verdadero poder calorífico de los alimentos que consumimos diariamente, ya que con ello podríamos saber cuántas calorías consumimos en realidad.

2. MARCO TEORICO

2.1 CALORIMETRIA

2.1.1 Historia

En 1765, el profesor de química escocés Joseph Black (Watt fue ayudante suyo) realiza un gran número de ensayos calorimétricos, distinguiendo claramente calor (cantidad de energía) de temperatura (nivel térmico), e introduciendo los conceptos de calor específico y calor latente de cambio de estado. (10)

Uno de estos experimentos consistía en echar un bloque de hierro caliente en un baño de hielo y agua y observar que la temperatura no variaba. Desgraciadamente, sus experimentos eran a presión constante cuando se trataba de líquidos, y a volumen constante cuando eran gases, por lo que ocurría que el trabajo intercambiado por el sistema con el exterior era siempre despreciable, dando origen a la creencia errónea de que el calor se conservaba en los procesos térmicos, lo que se reflejaba en la famosa teoría del calórico. (10)

La idea del calórico estaba en consonancia con una era (s. XVIII) de gestación científica en la que predominaban las teorías de los fluidos sutiles: el calórico, el flogisto, la electricidad; Los postulados de esta teoría reflejaban aquellos experimentos deficientes: 1) el calórico es un fluido elástico cuyas partículas se repelen, por lo que los cuerpos se dilatan al recibir calor; 2) la atracción del calórico por la materia depende de cada sustancia y de su estado térmico, como lo muestra la variación de la capacidad calorífica; 3) el calórico se conserva en cualquier transformación, como demuestra la calorimetría; 4) el calórico puede ser "sensible", o combinarse con la materia, como ocurre en los cambios de fase; 5) el calórico pesa, como explica el aumento de peso de ciertos metales al ser calcinados en presencia del aire (posteriormente se eliminó este último postulado). (10)

Aunque ya en 1774 Lomonosov rechazaba la teoría del calórico y atribuía el calor al movimiento microscópico molecular, no fue hasta 1842, con los concluyentes experimentos de Mayer y Joule, cuando se desechó este modelo. En 1798, B. Thompson (conde Rumford) combatió la teoría del calórico arguyendo que se podía generar continuamente calor por fricción, en contra del tercer postulado de dicha teoría. Hoy día suele utilizarse esta teoría del calórico, que fue asumida por Lavoisier, Fourier, Laplace, Poisson y llegó a servir a Carnot para descubrir el Segundo Principio de la Termodinámica, como el ejemplo más notorio del tortuoso camino que a veces puede seguir el discursar científico en su continuo perfeccionamiento. En realidad, la palabra "calórico" es debida a Lavoisier, a quien debemos gran parte de la nomenclatura fisicoquímica y otros grandes aportes científicos: estableció la ley de conservación de la masa, asoció la respiración animal al proceso de oxidación del carbono, dio nombre al oxígeno, atribuyó un origen químico a la energía animal, y en su obra "Réflexiones sur le flogistique"

(1777) desterró la idea del flogisto, ese fluido interior de las sustancias combustibles, que había sido propuesta por Stahl en 1697. En 1800, Herschel, tratando de medir el contenido energético de los diferentes colores del espectro solar (descubierto en 1665 por Newton estudiando la refracción a través de un prisma de vidrio), descubre la radiación infrarroja. Por otro lado, y aunque ya Boyle la había usado provechosamente en sus trabajos sobre gases ideales, en 1808 resurge la teoría atómica de la materia, enunciando Dalton sus tres famosas leyes: 1) la masa se conserva en las reacciones químicas, 2) las proporciones en que se combinan las sustancias son definidas, 3) si dos sustancias se combinan en varias proporciones, existe entre ellas una relación sencilla de multiplicidad. En 1811 Avogadro postuló que un mismo volumen de cualquier gas, en las mismas condiciones de presión y temperatura tendría el mismo número de moléculas, pero el primero en determinar ese número ($n_L = 2.7 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$) fue Loschmidt en 1865 a partir de la teoría cinética, y fue Perrin en 1909 quien introdujo el número de Loschmidt por mol (el llamado número de Avogadro, $N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$) y lo midió experimentalmente en suspensiones coloidales, con la teoría de Einstein de 1905 del movimiento browniano. En 1822, el matemático, físico y egiptólogo francés Joseph Fourier publica su única obra "La théorie analytique de la chaleur" donde, además de sentar las bases del análisis espectral y contribuir significativamente al análisis de los desarrollos en series y al cálculo infinitesimal en general, formulaba toda la teoría de la transmisión del calor por conducción, conforme la conocemos hoy. Fourier ocupó la primera Cátedra de Matemáticas de l'École Normal, y empezó a desarrollar la teoría del calor durante sus dos años (1798-1800) de estancia en Egipto con las tropas de Napoleón, intentando reducir el tiempo que tardaban en enfriarse los cañones tras los disparos. Fue en esta época (hacia 1800) cuando se empezaron a hacer experimentos de combustión con mezclado previo de combustible y oxidante, inicialmente en cámara cerrada y con objeto de analizar la composición de los gases combustibles (Berthollet, Dalton, Volta, Davy) y posteriormente en mechero abierto (Bunsen, 1855). Hasta entonces, el conocimiento termoquímico-fluidodinámico era tan pobre que hasta Montgolfiers a finales del XVIII creía que el poder ascensional de sus maravillosos aerostatos era proporcional a la negrura del gas (cuanto más humo, más subía). (10)

La calorimetría es la rama de la termodinámica que mide la cantidad de energía generada en procesos de intercambio de calor. El calorímetro es el instrumento que mide dicha energía.

2.1.2 PODER CALORIFICO SUPERIOR (PCS) Y PODER CALORIFICO INFERIOR (PCI)

El poder calorífico de un combustible es la máxima cantidad de calor que se puede obtenerse él cuando se quema en forma completa y sus productos son enfriados hasta la temperatura original de la mezcla aire-combustible. La principal característica de un combustible es su poder calorífico. Este calor se mide en Joule o julio, caloría o BTU, dependiendo del sistema de unidades.

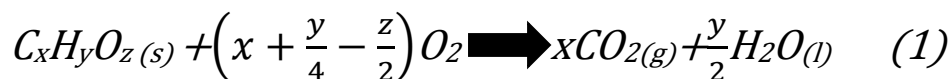
Entre los productos de la combustión está presente vapor de agua, el cual, dependiendo de la temperatura de los productos, puede permanecer como vapor, puede condensar parcialmente o condensar completamente. Como el vapor al condensar libera calor, mientras más condensado se forme, mayor calor se estará obteniendo del combustible. Esto permite diferenciar entre Poder Calorífico Inferior (PCI) y Poder Calorífico Superior (PCS).

El Poder Calorífico Inferior (PCI) indica la cantidad de calor que puede proporcionar el combustible cuando toda el agua en los productos permanece como vapor, mientras el Poder Calorífico Superior (PCS) refleja el calor que puede liberar el combustible cuando toda el agua en los productos condensa (3).

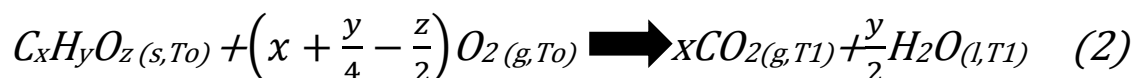
Debido a que los gases producidos durante la combustión al final se encuentran a temperaturas bastante bajas y a que el ensayo se lleva a cabo a alta presión, la mayor parte del agua presente en los productos condensa, por lo cual el poder calorífico que se está determinando es el superior (PCS). Como no se puede medir en el laboratorio la cantidad de agua presente después de la combustión, es imposible el cálculo del Poder Calorífico Inferior (PCI) del combustible (11).

2.2 COMBUSTION

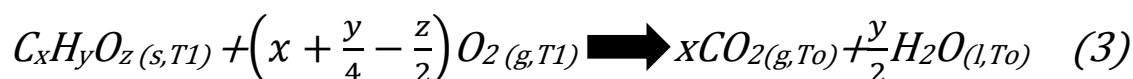
En una reacción de combustión, el material que va a ser analizado, se quema en una atmósfera de oxígeno puro y en exceso, para asegurar una combustión total. Si es una sustancia orgánica que contiene solo C, H y O (como es el caso), los productos de la combustión son H₂O y CO₂ (12):



Por definición en el calor de reacción (en este caso de combustión), tanto los reactivos como productos deben estar en las mismas condiciones de presión y temperatura, y es llevado por lo general en condiciones adiabáticas en el calorímetro como se observa en la ecuación (2) (12):



Los reactivos se encuentran a una temperatura inicial T_0 y los productos a una temperatura final T_1 . El estado final está a una temperatura mayor T_1 . Si queremos condiciones isotérmicas, es necesario un segundo proceso, enfriar los productos hasta la temperatura inicial T_0 como se observa en la ecuación (3) (12):



El proceso de enfriamiento se lleva de manera adiabática $Q_{enf} = 0$, entonces, el calor total del proceso será (11):

$$\Delta H = Q_{enf} + Q_R \longrightarrow \Delta H = 0 + Q_R \longrightarrow \Delta H = Q_R \quad (4)$$

Donde Q_R es el calor de reacción (combustión), el aumento de entalpía del sistema resultante de la reacción química (combustión) (12).

Al considerar la reacción de formación de un compuesto, se define como aquella que tiene un mol del compuesto y solo uno, como producto y como reactivos solo aparecen los elementos en sus estados más estables de agregación. El aumento de entalpía de tal reacción es el calor de formación o entalpía de formación del compuesto ΔH_{formac} . Es decir que el cambio de entalpía, es igual a la entalpía final del sistema, menos la entalpía inicial del sistema, pues la entalpía es una función de estado. Se debe tener presente además, que la suma de las entalpías de los elementos que componen los reactivos, es igual a la suma de las entalpías de los elementos que componen los productos, es decir que entre el calor de reacción y el calor de formación de un compuesto tenemos la ecuación (5):

$$\Delta H_{reaccion} = \Delta H_{formacion\ de\ productos} - \Delta H_{reactivos} \quad (5)$$

La entalpía de formación de un compuesto a 1 atm y 25°C es la entalpía estándar de formación $\Delta H^{\circ}_{formac}$.

Como la presión es constante, la entalpía de formación estándar solo depende de la temperatura, estos datos se pueden hallar en la literatura.

Cuando el proceso es llevado a volumen constante, el calor de reacción es igual al aumento de la energía ΔU .

$$Q_v = \Delta U \quad (6)$$

La variación correspondiente de estado es: $R(T, V, p) \longrightarrow P(T, V, p')$, es decir, durante la transformación, las condiciones de los reactivos y los productos pueden variar solo en la presión. De acuerdo a la definición de entalpía:

$$\Delta H = \Delta U + (p^{final} - p^{inicial}) V \quad (7)$$

Las presiones inicial y final en la bomba calorimétrica se determinan mediante el número de moles **gaseosos** presentes inicial y finalmente:

$$p^{inicial} = \frac{n_r RT}{V} \text{ y } p^{final} = \frac{n_{prod} RT}{V} \quad (8)$$

Reemplazando en (7):

$$\Delta H = \Delta U + \Delta n RT \quad (9)$$

Δn = diferencia entre el número de moles gaseosos de los productos y los reactivos.

Los calores de combustión y de formación son factores importantes que se debe tener en cuenta en los balances de energía de los diferentes procesos industriales, obtención de productos, en procesos de combustión, diseño de reactores, entre otros. (12)

2.3 MEDICIÓN DE LA ENERGÍA DE LOS ALIMENTOS

La caloría como unidad de medida En cuanto a la energía de los alimentos, una caloría expresa la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 kg (1 L) de agua 1 ° C (específicamente, 14,5-15,5 ° C). Por lo tanto, kilogramo calorías o kilocalorías (kcal) define con más precisión en calorías.

Por ejemplo, si un alimento particular contiene 300 kcal, luego liberando la energía potencial atrapado dentro de este alimento de estructura química aumenta la temperatura de 300 L de agua 1 ° C. Diferentes alimentos contienen diferentes cantidades de potencial energía. Media taza de mantequilla de maní con un calórica valor de 759 kcal contiene la energía térmica equivalente a aumentar la temperatura de 759 L de agua 1°C (13).

1 caloría alimenticia = 1000 calorías reales = 4.2 kilojulios.

Tabla N°1 ponderado de las estadísticas de consumo basados en una encuesta de 185 dietas.

Grupos de alimentos	Proteínas	Grasa	Carbohidratos
Alimento de origen animal	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje
	97	95	98
Cereales	85	90	98
Granos	78	90	97
Azucares y Almidones	-----	-----	98
Vegetales	83	90	95
Frutas	85	90	90
Alimentos Vegetales	84	90	97
Total de alimentos	92	95	97

Tabla N°2 Calores de combustión, y valores de energía netos fisiológicos de la dieta de proteínas, los lípidos, y carbohidratos

Grupos de alimentos	Digestibilidad (%)	Calor de combustión (kcal-g ⁻¹)	Energía neta (kcal-g ⁻¹)
Proteínas			
Carnes, pescados	97	5,65	4,27
Huevos	97	5,75	4,37
Productos lácteos	97	5,65	4,27
Alimentos de origen animal (promedio)	97	5,65	4,27
Cereales	85	5,80	3,87
legumbres	78	5,70	3,47
Vegetales	85	5,00	3,11
Frutas	85	5,20	3,36

Alimentos vegetales (promedio)	85	5,65	3,74
Total proteínas (promedio)	92	5,65	4,05
Grasas			
Carnes y Huevos	95	9,50	9,03
Productos lácteos	95	9,25	8,79
Alimentos de origen animal	95	9,40	8,93
Alimentos origen vegetal	90	9,30	8,37
Total grasas (promedio)	95	9,40	8,93
Carbohidratos			
Alimentos de origen animal	98	3,90	3,82
Cereales	98	4,20	3,11
Legumbres	97	4,20	4,07
Vegetales	95	4,20	3,99
Frutas	90	4,00	3,60
Azúcares	98	3,95	3,87
Alimentos de origen vegetal	97	4,15	4,03
Total carbohidratos (promedio)	97	4,15	4,03
<p>From Merrill AL, Watt BK. Energy values of foods; basis and derivation. Agricultural handbook no 74, Washington, DC US. Department of Agriculture; 1973.</p> <p>°Net physiologic energy values computed as the coefficient of digestibility times the heat of combustion adjusted for energy loss in urine.</p>			

2.4 BOMBA CALORIMETRICA:



1. **Fig.1** Esquema de la bomba calorimétrica de la escuela de química de la universidad tecnológica de Pereira.
(Tomado de <http://www.phywe.com/461/pid/26659/Determination-of-the-enthalpy-of-combustion-with-a-calorimetric-bomb.htm>)

2.4.1 Calorímetro transparente:



Fig.2 Detalle de la Bomba calorimétrica del laboratorio de fisicoquímica de la escuela de química

2.4.1.1 CARACTERÍSTICAS:

En la química y la física, se utiliza el método calorimétrico para determinar la entalpía de reacción, el calor latente o calor específico.

En el recipiente bien aislado de baja capacidad térmica se introduce una cantidad de calor que se disipa provoca un cambio de la temperatura que se puede medir con precisión y se puede calcular la variable deseada si se conocen las condiciones experimentales.

El calorímetro es transparente para notar cambios en el color o las precipitaciones que ocurren a menudo en las reacciones químicas, se pueden observar directamente (14).

2.4.1.2 DESCRIPCIÓN

El calorímetro consiste en un recipiente Dewar de vidrio (capacidad aprox. 1,2 l) con una tapa y una base.

Los dos agujeros en la tapa se utilizan para rellenar el calorímetro y para la inserción de una sonda de temperatura, una bobina de calentamiento o una evaporación buque (14).

2.4.1.3 FUNCIONAMIENTO

Con el fin de mezclar el líquido a fondo, es aconsejable operar el calorímetro en un agitador magnético. El calorímetro tiene una base diseñada con el fin de permanecer firme en la placa de base de nuestro agitador magnético.

Pero no encender la calefacción de la placa de base, ya que se deformará la base (14).

2.4.2 BOMBA CALORIMETRICA



Fig.3 Detalle de la Bomba Calorimétrica

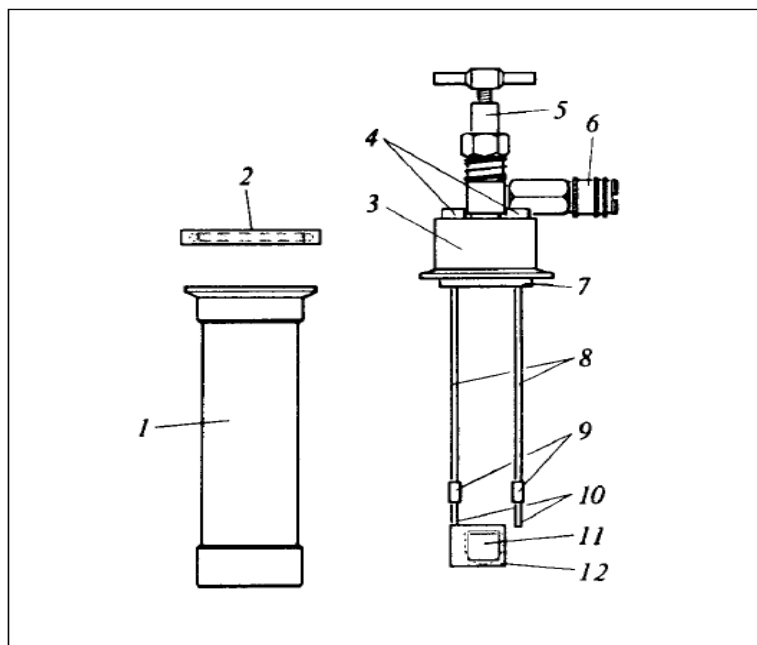


Fig.4 Diagrama de las partes de la Bomba Calorimétrica

2.4.2.1 CARACTERÍSTICAS:

La bomba calorimétrica sirve para medir los valores caloríficos, sustancias sólidas o líquidas. Se utiliza por lo general en el trabajo práctico como un sistema de medición completo, completándolo con un calorímetro y un dispositivo de medición de la temperatura (15).

La bomba calorimétrica consiste de los siguientes pasos:

Un contenedor resistente a la presión - 1 (véanse las Figs. 3 y 4), y una tapa - 3 para que el gas no salga. Dos 4 mm de conexión sockets - 4 en la parte superior de la tapa, conectar a través de la tapa los electrodos de níquel - 8 en la parte inferior. Un cable de encendido se puede conectar entre éstos. Un soporte de la muestra - 12, en los electrodos sirve para sostener el crisol de combustión - 11. Disco - 7, hecho de fibra de cerámica, actúa como aislante térmico. Válvula de regulación - 5 y una conexión rápida para acoplamiento - 6 permiten la conexión sencilla de la bomba calorimétrica a una bombona de oxígeno, para llenarlo con el oxígeno, por medio de una manguera de presión con enchufe (15).

2.4.2.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Llenar la presión máx. 10 bar
- Max. Presión de trabajo 70 bar
- Max. Temperatura de trabajo de 100 ° C
- Material:
- Acero inoxidable recipiente resistente tapa y la presión
- O-Ring Viton
- Anillo externo de aluminio centrado
- Electrodos de níquel
- Volumen aprox. 120 ml
- Peso aprox. 1,2 kg

3. SECCIÓN EXPERIMENTAL

3.1 MATERIALES Y REACTIVOS

3.1.1 Muestras alimenticias

Las muestras alimenticias usadas para realizar este proyecto fueron:

3.1.1.1 Panela marca LP:

Industria colombiana NET.WT.34oz (1000g) CALIDAD TIPO EXPORTACION-
elaborada por: TRAPICHE CAÑA DULCE S.A – Candelaria Valle



Fig.5 Imagen panela usada para el proyecto

Tabla N°3 tabla nutricional panela LP

Contenido nutricional de 100g de panela			
Carbohidratos en gramos		Vitaminas en miligramos	
Sacarosa	83	provitamina	2,00
Glucosa	5,5	vitamina A	3,60
Minerales en miligramos		vitamina B1	0,01
		vitamina B2	0,06
		vitamina B5	0,01
		vitamina B6	0,01
		vitamina C	7,00
		vitamina D2	6,50
		vitamina E	111,30
		vitamina PP	7,0
Potasio	10 a 13	Proteínas 200mg	
Calcio	40 a 100		
Magnesio	70 a 90		
Fosforo	20 a 30	Agua 9,0g	
Sodio	19 a 30		
Hierro	10 a 13		
Manganeso	0,2 a 0,5	Calorías 312	
Zinc	0,2 a 0,4		
Flúor	5,3 a 6,0		
Cobre	0,1 a 0,9		

Fabricado por incolcar S.A industria colombiana de carne Av. Boyacá sur-Bogotá
D.C peso neto 150g peso drenado 95g unidades: 7



Tabla N°4 tabla nutricional salchichas de pollo Viena marca ronda

Tamaño por porción		95g	
Contiene porciones		1	
CANTIDAD POR PORCION			
Calorías		110	
Calorías dese la grasa		40	
%Valor Diario*			
GRASA TOTAL 4,5g		7%	
Grasa saturada 1,5g		8%	
Grasa Trans 0g			
Colesterol 20mg		7%	
Sodio 550mg		23%	
Carbohidratos Totales 11g		4%	
Fibra Dietaría 0g		0%	
Azucares 0g			
Proteína 7g		14%	
Vitamina A	0%	Vitamina C	0%
Calcio	10%	Hierro	30%

3.1.2 Equipos

Tabla N°5 Materiales usados

MATERIALES DE VIDRIO Y ELEMENTOS DE LABORATORIO	CANTIDAD
Calorímetro	1
Vaso de precipitado de 2L	1
Espatula	2
Tijeras	1
Termómetro calorimétrico de precisión	1
Balanza analítica	1
Capsula de porcelana	1
Pinzas para crisol	1
Desecador	1
Agitador magnético	1
Horno	1
Maserador	1
termocupla	1

3.1.3 Reactivos

Tabla N°6 Reactivos usados

NOMBRE	CODIGO DE COLOR	REGISTRO ESPECIFICO	CONSEJO DE PRUDENCIA
Acido benzoico	AZUL	38-41-48/23	26-39-45-63
Alambre de hierro (ferroníquel)	-----	-----	-----
Oxígeno puro	BLANCO	8A	9-17A
Ácido nítrico	AZUL	8-35	23-26-36-45-1/2

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 ANALISIS A PRODUCTOS AGRICOLAS PANELA (NTC 1311)

Esta normativa describe cuales son las pruebas a realizar así como los métodos empleados para evaluar diferentes parámetros para que este producto sea de consumo humano (16).

3.2.1.1 Determinación del porcentaje de humedad (NTC 1311)

Cada una de las muestras alimenticias tomadas se licuo para así asegurar homogeneidad en estas, se tomaron 5 gramos de cada una de las muestras y se depositaron en capsulas de porcelana previamente taradas y pesadas, luego fueron secadas en la estufa durante 3 horas a 105°C y posteriormente se introdujeron en el desecador durante 15 minutos, se pesaron hasta que la masa de estas fuese constante, después fueron almacenadas en bolsas herméticas para prevenir que ganaran de nuevo humedad para los demás análisis (16).

3.2.1.2 Determinación de azúcares reductores

El método químico de cuantificación de azúcares se basa en la capacidad reductora de los distintos azúcares sobre una disolución salina de cobre. Sin embargo, es un método que requiere un manejo cuidadoso y un cumplimiento riguroso de todos los pasos para que sea reproducible. Inicialmente se cuantifican los azúcares reductores libres presentes en la muestra (glucosa principalmente), después de una hidrólisis ácida de la sacarosa (inversión), se determinan los azúcares reductores totales. Por diferencia entre la cantidad de azúcar presente antes y después de la inversión, se obtiene el contenido en sacarosa. (17)

3.2.1.3 Determinación de azúcares totales

- Para lograr la inversión de la sacarosa colocar en un vaso de precipitados de 250 mL, 5 mL del filtrado obtenido para la determinación de azúcares reductores.
- Agregar 50 mL de agua destilada y 0.5 mL de ácido clorhídrico concentrado, homogenizar perfectamente y calentar a ebullición por tres minutos.
- Enfriar rápidamente y neutralizar con solución de hidróxido de sodio, a pH 7 con el potenciómetro.
- Pasar cuidadosamente la solución, con ayuda de una varilla, a un matraz aforado de 100 mL.

- Realizar la determinación de los azúcares reductores totales invertidos, como se describe para azúcares reductores.
- Cálculo del porcentaje de sacarosa. El porcentaje de sacarosa equivale a los azúcares reductores totales – azúcares reductores * 0.95. (17)

$$\%sacarosa = (\%ART - \%AR) * 0,95$$

3.2.2 DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS)

3.2.2.1 Preparación de la muestra:

- 1) Se toma una parte de la muestra y se masera hasta quedar lo más triturada posible, esto ayudara a que el agua se evapore más rápidamente de la muestra.
NOTA: si se desea asegurar la homogeneidad de la muestra tomada, se debe licuar la muestra antes de sacar una parte de esta para macerar.
- 2) Se pesan con exactitud 5g de la muestra en una capsula de porcelana previamente tarada y pesada.
- 3) Se lleva a desecación en una estufa a presión atmosférica entre 100 °C y 105 °C, o en una estufa al vacío a 70°C, durante dos a tres horas.
- 4) Se retira la capsula de la estufa y se coloca inmediatamente en un desecador hasta que alcanzan la temperatura ambiente.
- 5) La muestra desecada se pesa.
- 6) Si es posible, se deben repetir las operaciones de secado, enfriada y pesada hasta cuando se obtenga un peso constante, esto es cuando toda el agua de la muestra haya sido eliminada; luego se guarda en el desecador la muestra deshidratada.
- 7) Después del secado se macera para crear un polvo fino (con un tamaño aproximado de 0,250mm las partículas) con dicha muestra.
- 8) El objetivo de esto es remover la mayor cantidad de agua posible de la muestra alimenticia, ya que si esta posee demasiada agua no se podrá quemar y por lo tanto no se podrá realizar una combustión completa.

a)



b)



Fig.7 a) fotos de las salchichas y la panela antes de entrar a la estufa,
b) enfriándose en el desecador.



Fig.8 muestra de panela seca.



Fig.9 muestra de panela macerada hasta quedar partículas muy pequeñas.

3.2.2.2 Calibración

- 1) Se adicionan en el calorímetro 2 L de agua y se agita constantemente.
- 2) Se pesa aproximadamente 0.1 g de ácido benzoico en la balanza analítica. Un peso de combustible que libere más de 10000 calorías, puede dañar la bomba.
- 3) Se cortan aproximadamente unos 13 cm de alambre de ignición y se pesa en la balanza analítica.
- 4) Se coloca los 0.1 g de ácido benzoico en un tubo de ensayo que está adaptado a la medida para la bomba calorimétrica.
- 5) Se coloca la masa de ácido benzoico con el alambre de ignición de la cabeza de la bomba, uniendo los terminales de los electrodos con el alambre de ignición.

Se debe tener la precaución de limpiar los terminales de los electrodos (para tal fin utilizar una solución diluida de ácido nítrico, añadiendo unas gotas del ácido en el punto donde se va a hacer contacto entre el alambre de ignición y el terminal del electrodo. Comprobar la continuidad de corriente, con un tester.

- 6) Se introduce en el cuerpo de la bomba y se tapa, lo anterior solo se hace manualmente.
- 7) La introducción de oxígeno: Verificar que el paso anterior no permita escape de gas (tapado). Se conecta la bomba al cilindro de oxígeno, con la válvula respectiva.

- 8) Lentamente se abre el cilindro de oxígeno, y mediante el segundo manómetro cuidadosamente se regula la inyección de oxígeno a la bomba (aproximadamente 8 a 9 ATM), durante unos (30) segundos y después se cierra. Si se hace en forma abrupta puede esparcir la muestra. Una vez realizada esta operación se desconecta la bomba del cilindro de oxígeno y se pone el tapón de la válvula y se ajusta con los dedos, para dar mayor seguridad a la válvula de retención.
 - 9) Se introduce la cabeza de la bomba en el calorímetro y se instala el termómetro digital. Se espera a que la temperatura del agua sea constante (aproximadamente 5 min.). Una vez alcanzada la anterior temperatura (se anota).
 - 10) Se conecta a los tornillos de contacto del calorímetro, al cable de la unidad de ignición.
 - 11) Se coloca la fuente en 1,5 A y 17 V.
 - 12) Se toman lecturas de la temperatura cada 15 segundos después de iniciada la combustión hasta alcanzar un valor constante.
 - 13) Se desconecta la bomba de los cables de ignición y retiro el termómetro.
 - 14) Sacar la bomba del calorímetro y descargar los gases de combustión, abriendo lentamente la válvula correspondiente.
 - 15) Se retira la tapa de seguridad del cuerpo de la bomba. Se examina el interior del cuerpo y observar si hay hollín u otras evidencias de una combustión incompleta, (si se da una combustión incompleta se repetirá el experimento).
 - 16) Observar si hay pedazos de alambre de ignición sin quemar y pesarlos en la balanza analítica.
- **NOTA:** En forma idéntica a la anterior, se procede a realizar la combustión de la muestra alimenticia siguiendo los numerales del **2** al **16**



Fig.10 panela antes de ser introducida a la bomba calorimétrica.

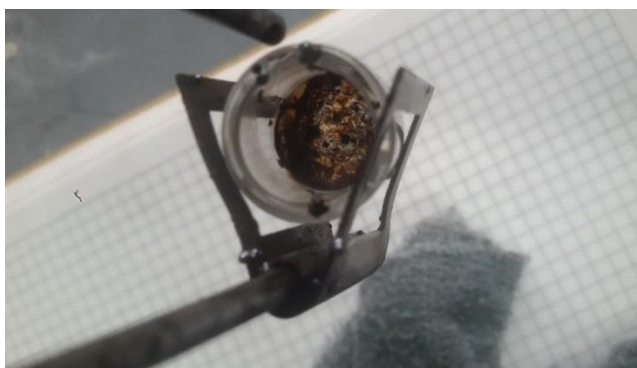


Fig.11 muestra de panela después de la combustión.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD

4.1.1 Determinación del porcentaje de humedad de la panela

Se tomaron 4 g aproximadamente de cada muestra para los diversos análisis a realizar.

Tabla 7. Datos obtenidos en el laboratorio muestra panela.

Pesos tomados de las capsulas de porcelana secas y de la muestra antes y después de secarlas		
Peso capsula 1: 40,4024g	Peso muestra 1: 4,1297g	P.Ms1+capsula: 44,1939g
Peso capsula 2: 40,9712g	Peso muestra 2: 3,9948g	P.Ms2+capsula: 44,6370g

P.M.s: peso muestra seca.

CALCULO PORCENTAJE DE HUMEDAD:

$$\%H(\text{base húmeda}) = \frac{((\text{Peso de la muestra}) - (\text{Peso de la muestra seca}))}{\text{Peso muestra}} \times 100$$

$$\%Hm1(\text{base húmeda}) = \frac{((44,5321) - (44,1939)g)}{4,1297g} \times 100 = 8,1895\%$$

$$\%HUMEDAD(\text{base seca}) = 100 - 8,2357 = 91,8105\%$$

$$\%Hm2(\text{base húmeda}) = \frac{((44,966) - (44,6370)g)}{3,9948g} \times 100 = 8,2357\%$$

$$\%HUMEDAD(\text{base seca}) = 100 - 8,2357 = 91,7643\%$$

• PROMEDIO HUMEDAD PANELA

- HUMEDAD (base húmeda): 8,2126g
- HUMEDAD (base seca): 91,7874g

Como se observa en la **tabla 7** tanto como en los cálculos la cantidad de agua que posee la panela es relativamente mínimo.

4.1.2 Determinación del porcentaje de humedad de la salchicha

Se tomaron 4 g aproximadamente de cada muestra ya que las salchichas poseen una gran cantidad de humedad de no ser así se hubiera obtenido muy poca cantidad muestra para los análisis.

Tabla 8. Datos obtenidos en el laboratorio muestra salchicha

Pesos tomados de las capsulas de porcelana secas y de la muestra antes y después de secarlas		
Peso capsula 1: 41,6834g	Peso muestra 1: 3,9898g	P.Ms1+capsula: 42,4698g
Peso capsula 2: 40,2897g	Peso muestra 2: 4,0575g	P.Ms2+capsula: 41,0867g
Peso capsula 3: 36,2397g	Peso muestra 3: 4,0402g	P.Ms3+capsula: 37,0210g

P.Ms: peso muestra seca.

CALCULO PORCENTAJE DE HUMEDAD:

$$\%H(\text{base húmeda}) = \frac{((\text{Peso de la muestra}) - (\text{Peso de la muestra seca}))}{\text{Peso muestra}} \times 100$$

$$\%Hm1(\text{base húmeda}) = \frac{((45,6732) - (42,4698)g)}{3,9898g} \times 100 = 80,2897\%$$

$$\%HUMEDAD(\text{base seca}) = 100 - 80,2897 = 19,7102\%$$

$$\%Hm2(\text{base húmeda}) = \frac{((44,3472) - (41,0867)g)}{4,0575g} \times 100 = 80,3574\%$$

$$\%HUMEDAD(\text{base seca}) = 100 - 80,3574 = 19,6426\%$$

$$\%Hm3(\text{base húmeda}) = \frac{((40,2799) - (37,0210)g)}{4,0402g} \times 100 = 80,6618\%$$

$$\%HUMEDAD(\text{base seca}) = 100 - 80,6618 = 19,3381\%$$

- **PROMEDIO HUMEDAD SALCHICHA**

- HUMEDAD (base húmeda): 80,4363g
- HUMEDAD (base seca): 19,5636g

4.1.3 Determinación del porcentaje de cenizas

Son las materias minerales presentes en la panela. Se obtienen por incineración de 3 g de panela a 550° C durante tres horas. Están constituidas principalmente por sales. Expresar el resultado como porcentaje de cenizas. (17)

Peso Crisol + Tapa = 34,8698g

Peso de muestra = 3,30347g

Peso crisol + tapa + muestra = 34, 9050g

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(34,9050 - 34,8698)g}{3,0347g} * 100 = 1,159\%$$

4.1.4 Azúcares reductores y Azúcares totales

Tabla 9. Datos obtenidos en el laboratorio de azúcares reductores y totales

Numero de muestra	Masa de panela tomada (g)	Volumen de titulación (ml)	% Azúcares reductores	% Azúcares no reductores	% Sacarosa	Glucosa Blanco
1	5,0896	8,6	11,089	89,97	74,9369	48,5388
2	5,0115	8,9	10,88	89,6804	74,8603	48,5388
3	4,9956	9,1	10,6772	92,0977	77,3494	48,5388

4.2 DETERMINACION DEL PODER CALORIFICO SUPERIOR (PCS)

Se hicieron previos análisis con diferentes sustancias antes de usar las muestras alimenticias, además se hizo por triplicado cada uno de los análisis para verificar el buen funcionamiento de la bomba calorimétrica.

La calibración de la bomba se hace siempre con ácido benzoico debido a que este es una sustancia de referencia usada a nivel global en universidades, laboratorios. Se además cada vez que se inicia a usar el equipo, es la sustancia que sirve para observar el calor ganado por el equipo, el calor desprendido de la combustión, y el calor absorbido por el agua. (10)

4.2.1 Calibración con ácido benzoico y resultados del Naftaleno

TABLA 10: Resultados De La Combustión Del Ácido Benzoico

MASA DE ÁCIDO BENZOICO (g)	MASA DE ALAMBRE DE HIERRO (g)	TEMPERATURA INICIAL (°C)	TEMPERATURA FINAL (°C)
0.1003	0.0244	22,7	23,2

$$C_{cal} = \frac{(q_{AB} \times m_{AB}) + (q_{Fe} \times m_{Fe})}{\Delta T}$$

q_{BA} = Calor de combustión del ácido benzoico (26435.8 J/g).

m_{AB} = Masa del ácido benzoico (g).

q_{Fe} = Calor de combustión del hierro (5858 J/g)

m_{Fe} = Masa del alambre de hierro utilizada para la combustión (g).

ΔT = Cambio de temperatura en el calorímetro (K).

$$C_{cal} = \frac{\left(26435,8 \frac{J}{g} \times 0,1003g\right) + \left(5858 \frac{J}{g} \times 0,0244g\right)}{0,5K} = 5588,8919 \frac{J}{K}$$

TABLA 11: Resultados De La Combustión Del Naftaleno

Muestra	Masa tomada (g)	Alambre reacciona (g)	T.Inicial (K)	T.Final (K)	ΔH Experimental (kJ/mol)	ΔH Teórico (kJ/mol)
1	0.1004	0,0184	296.45	297.05	-4861,6396	-5153
2	0.1007	0,0210	296.95	297.65	-4827,7851	-5153
3	0.1013	0,0168	297.55	298.25	-4830,3490	-5153

%Error = 6,07%



Fig.12 muestra de Naftaleno después de la combustión.

El valor teórico del naftaleno (-5153kJ/mol) así como el valor de referencia del ácido benzoico (26435.8 J/g) fueron tomados de tablas (Fisicoquímica - Gilbert W. Castellan 2ª Edición).

4.2.2 Calibración con ácido benzoico y resultados del Antraceno

TABLA 12: Resultados De La Combustión Del Ácido Benzoico

MASA DE ÁCIDO BENZOICO (g)	MASA DE ALAMBRE DE HIERRO (g)	TEMPERATURA INICIAL (°C)	TEMPERATURA FINAL (°C)
0.1003	0.0276	22,6	23,2

$$C_{cal} = \frac{(q_{AB} \times m_{AB}) + (q_{Fe} \times m_{Fe})}{\Delta T}$$

q_{BA} = Calor de combustión del ácido benzoico (26435.8 J/g).

m_{AB} = Masa del ácido benzoico (g).

q_{Fe} =Calor de combustión del hierro (5858 J/g)

m_{Fe} = Masa del alambre de hierro utilizada para la combustión (g).

ΔT = Cambio de temperatura en el calorímetro (K).

$$C_{cal} = \frac{\left(26435,8 \frac{J}{g} \times 0,1003g\right) + \left(5858 \frac{J}{g} \times 0,0276g\right)}{0,6K} = 4688,6526 \frac{J}{K}$$

TABLA 13: Resultados De La Combustión Del Antraceno

Muestra	Masa tomada (g)	Alambre reacciono (g)	T.Inicial (K)	T.Final (K)	ΔH Experimental (kJ/mol)	ΔH Teórico (kJ/mol)
1	0.1005	0,0155	296,35	297,15	-6484,8268	-6932,49
2	0,1003	0,0290	297,05	297,95	-7190,4001	-6932,49
3	0,1003	0,0161	297,85	298,75	-7290,3320	-6932,49

%Error= 5,11%



Fig.13 muestra de Antraceno después de la combustión.

El valor teórico del Antraceno (-6932,49kJ/mol) así como el valor de referencia del ácido benzoico (26435.8 J/g) fueron tomados de tablas (Fisicoquímica - Gilbert W. Castellan 2ª Edición).

4.2.3 Calibración con ácido benzoico y resultados de la Sacarosa

TABLA 14: Resultados De La Combustión Del Ácido Benzoico

MASA DE ÁCIDO BENZOICO (g)	MASA DE ALAMBRE DE HIERRO (g)	TEMPERATURA INICIAL (°C)	TEMPERATURA FINAL (°C)
0.1007	0.0158	21,8	22,4

$$C_{cal} = \frac{(q_{AB} \times m_{AB}) + (q_{Fe} \times m_{Fe})}{\Delta T}$$

q_{BA} = Calor de combustión del ácido benzoico (26435.8 J/g).

m_{AB} = Masa del ácido benzoico (g).

q_{Fe} =Calor de combustión del hierro (5858 J/g)

m_{Fe} = Masa del alambre de hierro utilizada para la combustión (g).

ΔT = Cambio de temperatura en el calorímetro (K).

$$C_{cal} = \frac{\left(26435,8 \frac{J}{g} \times 0,1007g\right) + \left(5858 \frac{J}{g} \times 0,0158g\right)}{0,6K} = 4591,0691 \frac{J}{K}$$

TABLA 15: Resultados De La Combustión De la Sacarosa

Muestra	Masa tomada (g)	Alambre reacciona (g)	T.Inicial (K)	T.Final (K)	ΔH Experimental (kJ/mol)	ΔH Teórico (kJ/mol)
1	0,1009	0,0218	295,55	295,95	-5796,7289	-5640,15
2	0,1010	0,0215	295,95	296,35	-5796,9456	-5640,15
3	0,1008	0,0257	296,25	296,65	-5724,8986	-5640,15

%Error = 2,35%



Fig.14 muestra de la sacarosa después de la combustión.

El valor teórico de la Sacarosa (-5640,15kJ/mol) así como el valor de referencia del ácido benzoico (26435.8 J/g) fueron tomados de tablas (Fisicoquímica - Gilbert W. Castellan 2ª Edición).

Como se observa tanto en la **tabla 15**, **tabla 13**, **tabla 11** en los porcentajes de error la bomba del laboratorio de fisicoquímica de la Universidad Tecnológica de Pereira se encuentra en buen estado, ya que los datos resultantes dieron valores cercanos al 5% de error, esto es gracias a los diversos ajustes y reparaciones que tuvieron lugar mientras se probaba con las distintas sustancias de referencia, para así obtener buenos resultados al trabajar con las muestras alimenticias.

4.2.4 Calibración con ácido benzoico y resultados de la panela

TABLA 16: Resultados De La Combustión Del Ácido Benzoico

MASA DE ÁCIDO BENZOICO (g)	MASA DE ALAMBRE DE HIERRO (g)	TEMPERATURA INICIAL (°C)	TEMPERATURA FINAL (°C)
0.1002	0.0227	22,5	23,1

$$C_{cal} = \frac{(q_{AB} \times m_{AB}) + (q_{Fe} \times m_{Fe})}{\Delta T}$$

q_{BA} = Calor de combustión del ácido benzoico (26435.8 J/g).

m_{AB} = Masa del ácido benzoico (g).

q_{Fe} =Calor de combustión del hierro (5858 J/g)

m_{Fe} = Masa del alambre de hierro utilizada para la combustión (g).

ΔT = Cambio de temperatura en el calorímetro (K).

$$C_{cal} = \frac{\left(26435,8 \frac{J}{g} \times 0,1002g\right) + \left(5858 \frac{J}{g} \times 0,0227g\right)}{0,6K} = 4636,4062 \frac{J}{K}$$

TABLA 17: Resultados De La Combustión De la Panela

Muestra	Masa tomada (g)	Alambre reacciono (g)	T.Inicial (K)	T.Final (K)	Cal muestra termodinámicas	Cal muestra alimenticias	Cal teórica
1	0.1015	0.0242	296,25	296,55	-2941,4384	-2,6999	-3,12
2	0.1008	0.0209	296,55	296,85	-3007,7015	-2,7607	-3,12
3	0.1008	0.0259	296,85	297,15	-2938,2523	-2,6969	-3,12

%Error =12,8476%

- los cálculos para la panela son los siguientes:

$$q_{comb} = C_{cal} \times \Delta T$$

$$4636,4062 \frac{J}{K} \times (296,55 - 296,25)K = 1390,9219J$$

$$q_{muestra} = \frac{(C_{cal} \times \Delta T) - (q_{Fe} \times m_{Fe})}{m_{muestra}} = \Delta U$$

$$\frac{4636,4062 \frac{J}{K} \times (296,55 - 296,25)K - (5858 \frac{J}{g} \times 0,0242g)}{0,1015g} = \frac{J}{g} = 12306,9783 \frac{J}{g}$$

$$q_{muestra} = 12306,9783 \frac{J}{g} = \Delta U$$

Se debe calcular primero el valor de las calorías alimenticias que nos indica el producto que estamos analizando, este dato nos lo dará su tabla nutricional.

$$\frac{312cal/g}{100gsln} = 3,12cal/gsln$$

Después:

$$Calorias(en\ base\ seca) = \frac{12306,9783J}{g} * \frac{1cal}{4,184J} = \frac{-2941,4384cal}{g}$$

Luego se deben pasar las calorías de base seca a base húmeda usando los datos de humedad hallados en el laboratorio:

$$\frac{-2941,4384cal}{g(B.S)} * \frac{91,7874g(B.S)}{100gsln} = \frac{-2699,8698cal}{gsln}$$

Lo siguiente es dividir en 1000 las calorías termodinámicas ya que:

$$1cal_{alimenticia} = 1000cal_{termodinámicas}$$

$$Calorias\ alimen. = \frac{-2699,8698cal}{gsln} * \frac{1cal\ alimenticia}{1000cal\ termodinamicas} = \frac{-2,6999cal}{gsln}$$

Por último se halla el % de error comparando las calorías que dice la tabla nutricional del producto con las calorías halladas en el laboratorio

$$\begin{aligned} \%Error &= \frac{R - T}{T} * 100 \\ \%Error &= \frac{\frac{-2,6999cal}{gsln} - \frac{-3,12cal}{gsln}}{\frac{-3,12cal}{gsln}} * 100 = 13,4657\% \end{aligned}$$

Cálculo del valor calórico de la panela usando los datos de carbohidratos, proteínas, lípidos proporcionados por la tabla nutricional del producto y los valores de Atwater:

TABLA 18: Valores de Atwater

BIOMOLECULAS	VALORES REALES DE ATWATER (Cal/g)	VALORES USADOS EN LA INDUSTRIA (Cal/g)
CARBOHIDRATOS	4,15	4
PROTEINA	5,65	4
LIPIDOS	9,40	9

CALCULO DEL VALOR CALORIFICO TEORICO DE LA PANELA:

Se calcula según los datos proporcionados por la tabla de nutrición del producto:

TABLA 19: Datos biomoléculas de la Panela

DATOS OBTENIDOS DE LA TABLA NUTRICIONAL DE LA PANELA (100g _{sln})	
PROTEINAS	0,2
CARBOHIDRATOS	88,5000
LIPIDOS	0

$$Cal\ panela = ((\%proteina \times 4) + (\%carbohidratos \times 4) + (\%lipidos \times 9))$$

$$Cal\ panela = ((0,2 \times 4) + (88,5000 \times 4) + (0 \times 9))$$

$$Cal\ panela = 354,8\ Cal/g$$

El dato teórico de las calorías que se encuentra en la tabla nutricional del producto por cada 100g de panela es de 312 Cal/g, mientras que el hallado usando los valores reportados de carbohidratos, proteínas y lípidos en la tabla nutricional es de 354,8 Cal/g esto nos indica que el valor teórico no corresponde a los datos que se encuentran la tabla nutricional del producto.

El valor de referencia del ácido benzoico (26435.8 J/g) fueron tomados de tablas (Fisicoquímica - Gilbert W. Castellan 2ª Edición).

4.2.5 Calibración con ácido benzoico y resultados de las salchichas

TABLA 20: Resultados De La Combustión Del Ácido Benzoico

MASA DE ÁCIDO BENZOICO (g)	MASA DE ALAMBRE DE HIERRO (g)	TEMPERATURA INICIAL (°C)	TEMPERATURA FINAL (°C)
0.1005	0.0248	22,7	23,3

$$C_{cal} = \frac{(q_{AB} \times m_{AB}) + (q_{Fe} \times m_{Fe})}{\Delta T}$$

q_{BA} = Calor de combustión del ácido benzoico (26435.8 J/g).

m_{AB} = Masa del ácido benzoico (g).

q_{Fe} =Calor de combustión del hierro (5858 J/g)

m_{Fe} = Masa del alambre de hierro utilizada para la combustión (g).

ΔT = Cambio de temperatura en el calorímetro (K).

$$C_{cal} = \frac{\left(26435,8 \frac{J}{g} \times 0,1005g\right) + \left(5858 \frac{J}{g} \times 0,0248g\right)}{0,6K} = 4670,1272 \frac{J}{K}$$

TABLA 21: Resultados De La Combustión De la salchicha

Muestra	Masa tomada (g)	Alambre reacciono (g)	T.Inicial (K)	T.Final (K)	Cal muestra termodinámicas	Cal muestra alimenticias	Cal teórica
1	0.1016	0.0224	296.35	297.05	-7387,0026	-1,5212	-1,1579
2	0.1014	0.0210	296.65	297.35	-7415,4735	-1,5271	-1,1579
3	0.1009	0.0257	297.25	297.95	-7387,0026	-1,5212	-1,1579

%Error =31,5460%

- Los cálculos para las salchichas son los siguientes:

$$q_{comb} = C_{cal} \times \Delta T$$

$$4670,1271 \frac{J}{K} \times (297.95 - 297.25)K = 3269,0890J$$

$$q_{muestra} = \frac{(C_{cal} \times \Delta T) - (q_{Fe} \times m_{Fe})}{m_{muestra}} = \Delta U$$

$$\frac{4670,1271 \frac{J}{K} \times (297.95 - 297.25)K - (5858 \frac{J}{g} \times 0.0257g)}{0.1009g} = \frac{J}{g} = 30907,2187 \frac{J}{g}$$

$$q_{muestra} = 30907,2187 \frac{J}{g} = \Delta U$$

$$\frac{110cal/g}{95gsln} = 1,1579cal/gsln$$

Después:

$$Calorias(en\ base\ seca) = \frac{30907,2187J}{g} * \frac{1cal}{4,184J} = \frac{-7387,0026cal}{g}$$

Luego se deben pasar las calorías de base seca a base húmeda usando los datos de humedad hallados en el laboratorio:

$$\frac{-7387,0026cal}{g(B.S)} * \frac{19,5636g(B.S)}{95gsln} = \frac{-1521,2249cal}{gsln}$$

Lo siguiente es dividir en 1000 las calorías termodinámicas ya que:

$$1cal_{alimenticia} = 1000 cal_{termodinámicas}$$

$$Calorias\ alimen. = \frac{-1521,2249cal}{gsln} * \frac{1cal\ alimenticia}{1000cal\ termodinamicas} = \frac{-1,5212cal}{gsln}$$

Por último se halla el % de error comparando las calorías que dice la tabla nutricional del producto con las calorías halladas en el laboratorio

$$\%Error = \frac{R - T}{T} * 100$$

$$\%Error = \frac{\frac{1,5212cal}{gsln} - \frac{1,1579cal}{gsln}}{\frac{1,1579cal}{gsln}} * 100 = 31,3758\%$$

Cálculo del valor calórico de la salchicha usando los datos de carbohidratos, proteínas, lípidos proporcionados por la tabla nutricional del producto y los valores de Atwater:

TABLA 22: Valores de Atwater

BIOMOLECULAS	VALORES REALES DE ATWATER (Cal/g)	VALORES USADOS EN LA INDUSTRIA (Cal/g)
CARBOHIDRATOS	4,15	4
PROTEINA	5,65	4
LÍPIDOS	9,40	9

CALCULO DEL VALOR CALORIFICO TEORICO DE LA SALCHICHA:

Se calcula según los datos proporcionados por la tabla de nutrición del producto:

TABLA 23: Datos biomoléculas de la salchicha

DATOS OBTENIDOS DE LA TABLA NUTRICIONAL DE LA SALCHICHA	
PROTEINAS	7
CARBOHIDRATOS	11
LIPIDOS	4,5

$$Cal\ panela = ((\%proteína \times 4) + (\%carbohidratos \times 4) + (\%lipidos \times 9))$$

$$Cal\ panela = ((7 \times 4) + (11 \times 4) + (4,5 \times 9))$$

$$Cal\ panela = 112,5\ Cal/g$$

El dato teórico de las calorías que se encuentra en la tabla nutricional del producto para la salchicha es de 110 Cal/g, mientras que el hallado usando los valores reportados de carbohidratos, proteínas y lípidos en la tabla nutricional es de 112,5 Cal/g esto nos indica que el valor teórico se encuentra cercano al reportado en la tabla nutricional del producto. El valor de referencia del ácido benzoico (26435.8 J/g) fueron tomados de tablas (Fisicoquímica - Gilbert W. Castellan 2ª Edición).

a)



b)



Fig.15 a) muestra de la salchicha antes y **b)** después de la combustión.

4.2.6 Practica elaborada para el laboratorio de alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira

DETERMINACION DEL PODER CALORIFICO EN ALIMENTOS

OBJETIVOS

- Determinar el poder calorífico de una muestra alimenticia usando el método de calorimetría directa.
- Escoger un alimento cuyos resultados se puedan comparar con datos teóricos encontrados en la bibliografía.

INTRODUCCION

Se denomina poder calorífico a la cantidad de calor que libera la unidad de masa de una sustancia cuando se oxida hasta su total conversión en CO₂ y agua (en los hidratos de carbono y grasas) y CO₂ y agua y productos nitrogenados (en las proteínas).

En los seres vivos el proceso que genera energía esencialmente es la oxidación metabólica de los alimentos. Denominada a esta energía metabólica y es aquella generada por los organismos vivos gracias a procesos químicos de oxidación como producto de los alimentos que ingieren.

El metabolismo es el conjunto de reacciones químicas que realizan las células para obtener energía, y sintetizar compuestos.

Los seres vivos son sistemas termodinámicos que requieren un suministro continuo de energía fundamentalmente para sostener costosos procesos bioquímicos, tales como el mantenimiento de la temperatura corporal, la respiración, la circulación, la síntesis de biomoléculas, el transporte activo de iones y de numerosas sustancias a través de las membranas celulares, así como la ejecución de trabajo mecánico (actividad física).

La energía necesaria para vivir se obtiene a partir de la oxidación de los alimentos que ingerimos, ya sean hidratos de carbono, lípidos, proteínas o alcohol.

Funcionalmente esa energía se distribuye en tres bloques: el metabolismo basal, que es la energía necesaria para que el ser vivo mantenga su estado de ser viviente, el costo de la actividad física que lleva a cabo el ser vivo y el efecto térmico de los alimentos, que es la energía necesaria para la utilización de estos.

La energía que aportan los alimentos puede determinarse mediante la medida del calor desprendido durante su combustión (calorimetría directa) o mediante la medida de los productos o reactivos de la misma (CO_2 y O_2 respectivamente), lo que se conoce como calorimetría indirecta.

Una Kcal se define como la cantidad de calor necesaria para elevar un grado Celsius la temperatura de un litro de agua. Corrientemente se utiliza el término Caloría (con mayúscula) como sinónimo de Kcal. Otra unidad utilizada es el kJ (1 Kcal equivale a 4,128 kJ), de todas formas el uso de Calorías (Kcal) es mucho más empleado y más frecuente en la terminología energética común en Nutrición.

La caloría se emplea como un índice para medir la energía de los alimentos ingeridos y poder así elaborar dietas adecuadas y a menudo «bajas en calorías» (suelen suponer una reducción de un 30%) que permitan la pérdida de peso corporal en aquellos casos que se haya diagnosticado sobrepeso. En cualquier caso, las dietas por debajo de 1.200 Kcal están consideradas como peligrosas, ya que son deficientes en algunos nutrientes importantes. En algunos alimentos se habla también de calorías basura (denominadas también como calorías vacías), que son las calorías provenientes de alimentos con muy poco valor nutritivo, como pueden ser los refrescos azucarados o las bebidas alcohólicas.

En la industria alimentaria, el valor energético de los alimentos se determina principalmente por la aplicación de un método empírico introducido a finales del siglo XIX. Este método, conocido como la regla 4-9-4; basado en la composición nutricional de los alimentos. Las cantidades de los nutrientes (en gramos) utilizados principalmente por el cuerpo humano para obtener energía (proteínas, lípidos y carbohidratos) se multiplican, respectivamente, por factores 4, 9 y 4 (Kcal.g^{-1}) para obtener así el valor energético de los alimentos. En los estados unidos de América y la unión europea se utiliza un método basado en el descrito con algunos refinamientos adicionales utilizando factores más específicos a diversos tipos de nutrientes, en función de sus orígenes.

En la mayoría de los casos, un alimento no tiene una composición química que se puede expresar con precisión por una fórmula o Conjunto molecular. Por esta razón, la energía liberada durante el proceso de combustión de un alimento dentro de un calorímetro es llamada calorífica. El valor energético de un alimento puede ser determinada en un calorímetro para la combustión desde el valor el poder calorífico superior (PCS) a volumen constante, es decir, la energía liberada a través de la reacción de oxidación completa en una atmósfera de oxígeno puro a una presión de 1 bar (0,1 MPa) y la temperatura Referencia 298,15 K. El valor PCS obtenidos considera toda el agua al final de la combustión está en la fase líquida. Esta determinación se traducirá en la obtención de un valor de energía alimentos mayor que el que se suministra para el cuerpo humano debido a que no pérdida contable de energía metabólica y nitrógeno en el cuerpo. De hecho, tanto en el cuerpo humano como un calorímetro de combustión, lípidos e hidratos de carbono que

consisten principalmente de carbono, el oxígeno y el hidrógeno pueden ser oxidados a sus productos finales: dióxido de carbono y agua.

- **MEDICIÓN DE LA ENERGÍA DE LOS ALIMENTOS:**

La caloría como unidad de medida En cuanto a la energía de los alimentos, una caloría expresa la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 kg (1 L) de agua 1 ° C (específicamente, 14,5-15,5 ° C). Por lo tanto, kilogramo calorías o kilocalorías (Kcal) define con más precisión en calorías.

Por ejemplo, si un alimento particular contiene 300 Kcal, luego liberando la energía potencial atrapado dentro de este alimento de estructura química aumenta la temperatura de 300 L de agua 1 ° C. Diferentes alimentos contienen diferentes cantidades de potencial energía. Media taza de mantequilla de maní con un calórica valor de 759 Kcal contiene la energía térmica equivalente a aumentar la temperatura de 759 L de agua 1°C (13).

1 caloría alimenticia = 1000 calorías reales = 4.2 kilojulios.

Tabla N°2 Calores de combustión, y valores de energía netos fisiológicos de la dieta de proteínas, los lípidos, y carbohidratos			
Grupos de alimentos	Digestibilidad (%)	Calor de combustión (Kcal-g⁻¹)	Energía neta (Kcal-g⁻¹)
Proteínas			
Carnes, pescados	97	5,65	4,27
Huevos	97	5,75	4,37
Productos lácteos	97	5,65	4,27
Alimentos de origen animal (promedio)	97	5,65	4,27
Cereales	85	5,80	3,87
legumbres	78	5,70	3,47
Vegetales	85	5,00	3,11
Frutas	85	5,20	3,36
Alimentos vegetales (promedio)	85	5,65	3,74
Total proteínas (promedio)	92	5,65	4,05
Grasas			
Carnes y Huevos	95	9,50	9,03
Productos lácteos	95	9,25	8,79
Alimentos de origen animal	95	9,40	8,93
Alimentos origen vegetal	90	9,30	8,37
Total grasas (promedio)	95	9,40	8,93
Carbohidratos			
Alimentos de origen animal	98	3,90	3,82

Cereales	98	4,20	3,11
Legumbres	97	4,20	4,07
Vegetales	95	4,20	
Frutas	90	4,00	3,60
Azúcares	98	3,95	3,87
Alimentos de origen vegetal	97	4,15	4,03
Total carbohidratos (promedio)	97	4,15	4,03

From Merrill AL, Watt BK. Energy values of foods; basis and derivation. Agricultural handbook no 74, Washington, DC US. Department of Agriculture; 1973.

°Net physiologic energy values computed as the coefficient of digestibility times the heat of combustion adjusted for energy loss in urine.

MATERIALES Y REACTIVOS

- MATERIALES:**

MATERIALES DE VIDRIO Y ELEMENTOS DE LABORATORIO	CANTIDAD
Calorímetro	1
Vaso de precipitado de 2L	1
Espátula	2
Tijeras	1
Termómetro calorimétrico de precisión	1
Balanza analítica	1
Capsula de porcelana	1
Pinzas para crisol	1
Desecador	1
Agitador magnético	1
Horno	1
maserador	1

- **REACTIVOS:**

NOMBRE	CODIGO DE COLOR	REGISTRO ESPECIFICO	CONSEJO DE PRUDENCIA
Acido benzoico	AZUL	38-41-48/23	26-39-45-63
Muestra alimenticia	-----	-----	-----
Alambre de hierro (ferroníquel)	-----	-----	-----
Oxígeno puro	BLANCO	8A	9,17A

PROCEDIMIENTO

- **Preparación de la muestra:**

1. Se toma una parte de la muestra y se masera hasta quedar lo más triturada posible, esto ayudara a que el agua se evapore más rápidamente de la muestra.
NOTA: si se desea asegurar la homogeneidad de la muestra tomada, se debe licuar la muestra antes de sacar una parte de esta para macerar.
2. Se pesan con exactitud 5g de la muestra en una capsula de porcelana previamente tarada y secada.
3. Se lleva a desecación en una estufa a presión atmosférica entre 100 °C y 105 °C, o en una estufa al vacío a 70°C, durante dos a tres horas.
4. Se retira la capsula de la estufa y se coloca inmediatamente en un desecador hasta que alcanzan la temperatura ambiente.
5. La muestra desecada se pesa.
6. Si es posible, se deben repetir las operaciones de secado, enfriada y pesada hasta cuando se obtenga un peso constante, esto es cuando toda el agua de la muestra haya sido eliminada; luego se guarda en el desecador la muestra deshidratada.
7. Después del secado se macera para crear un polvo fino (con un tamaño aproximado de 0,250mm las partículas) con dicha muestra, el objetivo de esto es remover la mayor cantidad de agua posible de la muestra alimenticia, ya que si esta posee demasiada agua no se podrá quemar y por lo tanto no se podrá realizar una combustión completa. Esto se hace también con el fin de saber cuánta humedad posee la muestra ya que este dato nos resultara útil para los posteriores cálculos.

- **Preparación del blanco:**

- **Calibración:**

1. Se adicionan en el calorímetro 2 L de agua y se agita constantemente.
2. Se pesa aproximadamente 0.1 g de ácido benzoico en la balanza analítica. Un peso de combustible que libere más de 10000 calorías, puede dañar la bomba.
3. Se cortan aproximadamente unos 13 cm de alambre de ignición y se pesa en la balanza analítica.
4. Una Se coloca los 0.1 g de ácido benzoico en un tubo de ensayo que está adaptado a la medida para la bomba calorimétrica
5. Se coloca la masa de ácido benzoico con el alambre de ignición de la cabeza de la bomba, uniendo los terminales de los electrodos con el alambre de ignición.

Se debe tener la precaución de limpiar los terminales de los electrodos (para tal fin utilizar una solución diluida de ácido nítrico, añadiendo unas gotas del ácido en el punto donde se va a hacer contacto entre el alambre de ignición y el terminal del electrodo. Comprobar la continuidad de corriente, con un tester.

6. Se introduce en el cuerpo de la bomba y se tapa, lo anterior solo se hace manualmente.
7. La introducción de oxígeno: Verificar que el paso anterior no permita escape de gas (tapado). Se conecta la bomba al cilindro de oxígeno, con la válvula respectiva.
8. Lentamente se abre el cilindro de oxígeno, y mediante el segundo manómetro cuidadosamente se regula la inyección de oxígeno a la bomba (aproximadamente 8 a 9 ATM), durante unos (30) segundos y después se cierra. Si se hace en forma abrupta puede esparcir la muestra. Una vez realizada esta operación se desconecta la bomba del cilindro de oxígeno y se pone el tapón de la válvula y se ajusta con los dedos, para dar mayor seguridad a la válvula de retención.
9. Se introduce la cabeza de la bomba en el calorímetro y se instala el termómetro digital. Se espera a que la temperatura del agua sea constante (aproximadamente 5 min.). Una vez alcanzada la anterior temperatura (se anota).
10. Se conecta a los tornillos de contacto del calorímetro, al cable de la unidad de ignición.
11. Se coloca la fuente en 1,5 A y 17 V.
12. Se toman lecturas de la temperatura cada 15 segundos después de iniciada la combustión hasta alcanzar un valor constante.
13. Se desconecta la bomba de los cables de ignición y retiro el termómetro.
14. Sacar la bomba del calorímetro y descargar los gases de combustión, abriendo lentamente la válvula correspondiente.

15. Se retira la tapa de seguridad del cuerpo de la bomba. Se examina el interior del cuerpo y observar si hay hollín u otras evidencias de una combustión incompleta, (si se da una combustión incompleta se repetirá el experimento).
 16. Observar si hay pedazos de alambre de ignición sin quemar y pesarlos en la balanza analítica.
- **NOTA:** En forma idéntica a la anterior, se procede a quemar la muestra alimenticia.

DIAGRAMAS DE LA PREPARACION DE LA MUESTRA Y MANEJO DE LA BOMBA CALORIMETRICA

Se toma una parte de la muestra y se masera hasta quedar lo más triturada posible, esto ayudara a que el agua se evapore más rápidamente de la muestra.

NOTA: si se desea asegurar la homogeneidad de la muestra tomada, se debe licuar la muestra antes de sacar una parte de esta para macerar.



Se pesan con exactitud 5g de la muestra en una capsula de porcelana previamente tarada y secada.



Se lleva a desecación en una estufa a presión atmosférica entre 100 °C y 105 °C, o en una estufa al vacío a 70°C, durante dos a tres horas, Se retira la capsula de la estufa y se coloca inmediatamente en un desecador hasta que alcanzan la temperatura ambiente.



Si es posible, se deben repetir las operaciones de secado, enfriada y pesada hasta cuando se obtenga un peso constante, esto es cuando toda el agua de la muestra haya sido eliminada; luego se guarda en el desecador la muestra deshidratada, Después del secado se macera para crear un polvo fino (con un tamaño aproximado de 0,250mm las partículas) con dicha muestra para poder usarla en la bomba calorimetrica, esto se hace tambien con el fin de saber cuanta humedad posee la muestra ya que este dato nos resultara util para los posteriores calculos.

Se adicionan en el calorimetro 2L de agua y esta se debe agitar constante mente usando un agitador magnetico



Colocar el electrodo de la termocupla dentro del calorimetro con agua y tomar la temperatura de esta pasados 5 minutos



Tomar la capsula y tararla, anotar el peso ya que despues se usara para saber cuanto alambre reacciono.



Pesar 0,1 g de acido benzoico o muestra alimeticia en la balanza y adicionarlos dentro de la capsula, posterior a esto, cortar aproximadamente 13cm de alambre de ignicion y pesarlo.



Colocar la capsula teniendo mucho cuidado con el acido benzoico o muestra alimenticia, a continuacion ubicar el alambre de modo que toque el acido benzoico sin tocar las paredes de la capsula.



Cerrar la bomba calorimetrica y colocarla con mucho cuidado de no agitarla dentro del calorimetro, abrir la valvula de escape de esta que se encuentra en la parte superior de la bomba calorimetrica.



Conectar al tanque de oxigeno la bomba calorimetrica, abrir la valvula de oxigeno, suministrar el oxigeno a una presion de 8 a 9 atm, cerrar pasadon 30 segundos junto con la valvula de la bomba.



iniciar la combustion usando la fuente a 17 voltios y 1,5 A, tomar los datos cada 15 segundos hasta que la temperatura se vuelva constante, despues de realizar la combustion abrir la valvula de la bomba para dejar escapar el CO_2 producido, pesar la capsula junto con el alambre de inigcion restante despues de la combustion.

RESULTADOS Y CALCULOS

- Calibración de la bomba con ácido benzoico

MASA DE ÁCIDO BENZOICO (g)	MASA DE ALAMBRE DE HIERRO (g)	TEMPERATURA INICIAL (°C)	TEMPERATURA FINAL (°C)

$$C_{cal} = \frac{(q_{AB} \times m_{AB}) + (q_{Fe} \times m_{Fe})}{\Delta T}$$

q_{BA} = Calor de combustión del ácido benzoico (26435.8 J/g).

m_{AB} = Masa del ácido benzoico (g).

q_{Fe} =Calor de combustión del hierro (5858 J/g)

m_{Fe} = Masa del alambre de hierro utilizada para la combustión (g).

ΔT = Cambio de temperatura en el calorímetro (K).

- Muestra alimenticia

- Masa alambre de hierro:
- Masa alambre sobrante después de la combustión:
- Peso capsula:
- Peso capsula + la muestra alimenticia:

MASA MUESTRA (g)			MASA DE ALAMBRE (g)		
			Masa alambre de ignición que reacciona:		
T (s)	T(°C)	T(K)	T (s)	T(°C)	T(K)
15			240		
30			255		
45			270		
60			285		
75					
90					
105					
120					
135					
150					
165					
180					
195					
210					
225					

MASA DE MUESTRA (g)	MASA DE ALAMBRE DE HIERRO (g)	TEMPERATURA INICIAL (°C)	TEMPERATURA FINAL (°C)

$$q_{comb} = C_{cal} \times \Delta T$$

$$q_{muestra} = \frac{(C_{cal} \times \Delta T) - (q_{Fe} \times m_{Fe})}{m_{muestra}} = \Delta U$$

- **Calculo de la humedad de la muestra:**

$$\%H(basehumeda(B.H)) = \frac{((Peso\ de\ la\ muestra) - (Peso\ de\ la\ muestra\ seca))}{Peso\ muestra} \times 100$$

$$\%HUMEDAD(base\ seca\ (B.S)) = 100 - \%H(B.H)$$

NOTA: para el cambio de energía fisicoquímica a energía alimenticia:

- Se halla el valor de energía del alimento para un gramo de este, es decir, si el alimento aporta 312cal/g para 100g del mismo se dividirá 312/100=3,12cal/g.
- Se toma el poder calorífico del alimento que se halló en el laboratorio este se debe pasar de julios a calorías.
- Luego se deben pasar las calorías de base seca a base húmeda ya que las halladas por la bomba calorimétrica se encuentran en base seca y las reportadas en la tabla nutricional de la muestra alimenticia están en base húmeda usando los datos de humedad hallados en el laboratorio, el peso total de la muestra que se usa es para este cálculo es el proporcionado por la tabla nutricional del producto.

$$\frac{valor\ hallado\ con\ la\ bomba\ cal}{g(B.S)} * \frac{HUMEDAD\ g(B.S)}{peso\ total\ de\ la\ muestragsln} = \frac{cal}{gsln}$$

- Lo siguiente es dividir en 1000 las calorías termodinámicas ya que:

$$1cal_{alimenticia} = 1000\ cal_{termodinámicas}$$

- Por último se halla el porcentaje de error comparando las calorías que se encuentran en la tabla nutricional del producto con las calorías halladas en el laboratorio

$$\%Error = \frac{R - T}{T} * 100$$

BIBLIOGRAFIA

1. Universidad Nacional del Nordeste (<http://www.unne.edu.ar/>)
2. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (<http://www.exa.unicen.edu.ar/>)
3. Energy value of foods: basis and derivation, Annabel Laura Merrill, Bernice Kunerth Watt, agriculture handbook No.74, 1973.
4. MANUAL DEL LABORATORIO DE ANALISIS DE ALIMENTOS, CARLOS HUMBERTO MONTOYA NAVARRETE, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA FACULTAD DE TECNOLOGIA ESCUELA DE QUIMICA ANALISIS DE ALIMENTOS PEREIRA, FEBRERO DE 2013.
5. FISICOQUIMICA APLICADA FUNDAMENTACION EXPERIMENTAL, JORGE ELIECER ALBA MENDOZA, MELVIN ARNOLDO DURAN RINCON, HOOVER ALVEIRO VALENCIA SANCHES, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, FEBRERO 2008
6. ESTANDARIZACION Y VERIFICACION DEL MÉTODO POR EL CUAL SE LOGRE DETERMINAR EL PODER CALORÍFICO DE ALIMENTOS USANDO LA CALORIMETRÍA, CRYSTHIAN ANDRES FERNANDEZ MOLINA.

4.2.7. Precauciones para trabajar con la bomba calorimétrica

TITULO: PRECAUCIONES PARA EL TRABAJO CON LA BOMBA CALORIMETRICA.

NOTA: ANTES DE USAR Y DESPUES DE USAR LA BOMBA REVISAR QUE EL SISTEMA DEL TANQUE DE OXIGENO NO ESTE BAJO PRESION, SIEMPRE DEBEN ESTAR EN 0 LOS MANOMETROS DEL TANQUE, DE NO SER ASI, LIBERAR EL OXIGENO ABRIENDO LA VALVULA DEL MANOMETRO HASTA QUE ESTE LLEGUE A 0.

1. ANTES DE USAR LA BOMBA ESTA SE DEBE LIMPIAR DENTRO DE ESTA CON UN TRAPO, PAPEL O SERVILLETAS, ESTO SE HACE PARA RETIRAR EL MAXIMO POSIBLE DE CARBON QUE HAY DENTRO DE ELLA YA QUE ESTE CARBON FUE PRODUCTO DE UNA COMBUSTION ANTERIOR Y PUEDE AFECTAR LA MEDICION DEL PODER CALORIFICO E LAS MUESTRAS.
2. SE DEBE AJUSTAR EL MANOMETRO DEL TANQUE DE OXIGENO EN UNA PRESION QUE PUEDE VARIAR ENTRE 8 A 9 ATM, YA QUE ESTA ES LA PRECION NECESARIA PARA LLEVAR A CABO LA REACCION DE COMBUSTION COMPLETA QUE SE DA DENTRO DE LA BOMBA CALORIMETRICA.
NOTA: SE DEBE TENER SUMO CUIDADO CON QUE LA PRESION DE LA BOMBA NO SOBREPASE O NO SE ACERQUE DEMASIADO A 10 ATM YA QUE ESTA ES LA PRESION MAXIMA QUE RESISTE.
3. AL LLENAR LA BOMBA CON OXIGENO DEJAR CIRCULAR ESTE EN UN PERIODO DE 25 A 30 SEGUNDOS CON LA VALVULA DE LA BOMBA ABIERTA, DESPUES DE PASAR ESTE TIEMPO CERRAR INMEDIATAMENTE LA VALVULA DE LA BOMBA Y LAS VALVULAS DEL TANQUE DE OXIGENO.
4. EL ALAMBRE DE FERRONIQUEL QUE SE USA PARA PRODUCIR LA CHISPA DENTRO DE LA BOMBA CALORIMETRICA DEBE MEDIR ALREDEDOR DE 13CM.
5. SE RECOMIENDA QUE LA FUENTE DE ALIMENTACION SUMINISTRA LA ENERGIA PARA CREAR LA CHISPA QUE HACE POSIBLE LA COMBUSTION DEBE OPERAR CON UN VOLTAGE MINIMO DE 15V Y UN AMPERAJE DE 1A.
NOTA: SE RECOMIENDA USAR UN VOLTAJE DE 17V/1,5A, ESTO SE DEBE A QUE SI SE USA UN VOLTAJE MAYOR LA ENERGIA RECIBIDA SERA MAYOR QUE LA NECESARIA POR EL SISTEMA AFECTANDO ASI LOS DATOS A TOMAR DE LAS MUESTRAS.
6. DESPUES DE HABER TERMINADO DE USAR LA BOMBA CALORIMETRICA REVISAR QUE LA VALVULA DEL MANOMETRO DEL TANQUE DE OXIGENO QUEDE SIN NINGUNA PRESION, DE NO SER ESTE EL CASO DEJAR ESCAPAR EL OXIGENO SIN ABRIR LA VALVULA DEL TANQUE SOLO LA DEL MANOMETRO PARA QUE EL SISTEMA QUEDE SIN NINGUNA PRESION YA QUE ESTO PUEDE PROVOCAR UN ACCIDENTE.

5. CONCLUSIONES

- Se determinó el poder calorífico superior (PCS) de diferentes sustancias de referencia y alimentos, se lograron buenos resultados ya que los valores obtenidos de los poderes caloríficos se encuentra cercanos entre sí, al compararlos con los datos teóricos obtenidos en las tablas nutricionales de los alimentos usados y además comparar la composición que se encuentra en la misma se observó que los datos de la panela no corresponden a los encontrados en el laboratorio además tampoco corresponden a los calculados usando las biomoléculas de carbohidratos, lípidos, proteínas que se encuentran en esta, los de la salchicha por otra parte se encuentran próximos a los calculados, además con esto se llegó a la conclusión de que no se obtuvo un buen porcentaje de error en parte al el hecho de que la muestra aun poseía demasiada agua a la hora de realizar el análisis.
- Se determinó el método el cual sirve para medir el poder calorífico de los alimentos.
- Se creó la práctica para el laboratorio de alimentos y para posteriores trabajos de grado en este mismo campo, se dieron indicaciones para el manejo y cuidado de la bomba calorimétrica.

6. RECOMENDACIONES

- Se debe tomar una parte de la muestra alimenticia a analizar dependiendo de la cantidad de agua que esta tenga, esto se debe a que cuando es secada en el horno el volumen de esta disminuirá, y es posible que no quede la necesaria para los análisis a realizar, además de esto se debe colocar mucho cuidado con la muestra a la hora de realizar el análisis del porcentaje de humedad ya que si la muestra aún posee agua nos dificultara no solo el análisis del poder calorífico del alimento sino también los resultados obtenidos con los cálculos posteriores .
- Se debe hacer las pruebas por triplicado ya que a veces hay factores que pueden intervenir dando resultados que no sean factibles.
- Se debe tener en cuenta las indicaciones tanto del monitor, del profesor y de la nota de seguridad a la hora de manejar la bomba calorimétrica.
- Se deben tener en cuenta la presión a la cual se está trabajando, esto es debido a que si no se administra el suficiente oxígeno no habrá una combustión completa, si se excede la presión la cual la bomba resiste puede ser peligroso para las personas que la están manipulando.
- Las capsulas que se están usando para realizar este estudio así como las practicas que requieren la bomba calorimétrica no son las adecuadas para trabajar con el equipo, ya que estas no resisten las altas temperaturas y presiones producidas dentro de la bomba calorimétrica, además de esto luego de usarlas se observa que la muestra se adhiere a las paredes de las mismas y en ocasiones se funden, fracturan, o rompen provocando un error, es recomendable trabajar con capsulas de una aleación de níquel-cromo ya que estas son las indicadas para trabajar con la bomba calorimétrica.

BIBLIOGRAFIA

1. <http://www.unne.edu.ar/>
2. <http://www.exa.unicen.edu.ar/>
3. Energy value of foods: basis and derivation, Annabel Laura Merrill, Bernice Kunerth Watt, agriculture handbook No.74, 1973.
4. <http://lema.rae.es/drae/?val=malnutrici%C3%B3n> (<http://www.rae.es/>)
5. <http://www.who.int/es/>
6. <http://www.icbf.gov.co/portal/page/portal/PortalICBF/NormatividadC/ENSIN1>
7. <http://www.fao.org/home/en/>
8. <https://ufhealth.org/>
9. <http://gami.mex.tl/frameset.php?url=/intro.html>
10. <http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/>
11. ESTUDIO DEL PODER CALORÍFICO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA INDUSTRIA AZUCARERA DE LA ZONA DE RISARALDAROSA VIRGINIA GARCÉS PAZ, SANDRA VIVIANA MARTINEZ SILVA UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA 2007
12. FISICOQUIMICA APLICADA FUNDAMENTACION EXPERIMENTAL, JORGE ELIECER ALBA MENDOZA, MELVIN ARNOLDO DURAN RINCON, HOOVER ALVEIRO VALENCIA SANCHES, UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA, FEBRERO 2008
13. Nutritional biochemistry, Brody Tom, second edition, academic press editorial, 1999
14. <http://www.phywe.com/461/pid/1294/Calorimeter,-transparent,-1200-ml.htm>
15. <http://www.phywe.com/461/pid/1296/Calorimetric-bomb.htm>
16. <http://tienda.icontec.org/index.php/agricultura-alimentos-impreso/ntc-1311-productos-agricolas-panela.html>
17. MANUAL DEL LABORATORIO DE ANALISIS DE ALIMENTOS, CARLOS HUMBERTO MONTOYA NAVARRETE, UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA FACULTAD DE TECNOLOGIA ESCUELA DE QUIMICA ANALISIS DE ALIMENTOS PEREIRA, FEBRERO DE 2013.